



---

# FFI-RAPPORT

---

20/01237

## Desinfeksjon og gjenbruk av åndedrettsvern (filtrerende halvmasker) – litteratursammenstilling

Janne Tønsager



# **Desinfeksjon og gjenbruk av åndedrettsvern (filtrerende halvmasker) – litteratursammenstilling**

Janne Tønsager

---

## **Emneord**

Åndedrettsvern  
Rensing  
Desinfeksjon  
Virus  
Bakterier  
Biologiske trusselstoffer

## **FFI-rapport**

20/01237

## **Prosjektnummer**

5587

## **Elektronisk ISBN**

978-82-464-3268-7

## **Engelsk tittel**

Disinfection and reuse of filtering half masks

## **Godkjenner**

Hanne Breivik, *forskningsleder*  
Marius Dybwad, *forskningsleder*  
Janet M. Blatny, *forskningsdirektør*

*Dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke håndskreven signatur.*

## **Opphavsrett**

© Forsvarets forskningsinstitutt (FFI). Publikasjonen kan siteres fritt med kildehenvisning.

---

---

## Sammendrag

Åndedrettsvern, som filtrerende halvmasker, benyttes i helsevesenet for å beskytte brukeren mot smittestoffer. Maskene må ha god tetting mot ansiktet og et velfungerende filtermateriale for å virke optimalt. De er sammensatt av flere lag med hovedsakelig polypropylen, og filteregenskapene er basert på en kombinasjon av mekaniske og elektrostatiske egenskaper.

Filtrerende halvmasker er normalt ikke godkjent for gjenbruk, men i en pandemisituasjon hvor behovet for åndedrettsvern overgår tilgjengeligheten kan desinfeksjon og gjenbruk være aktuelt. Fagmiljøer nasjonalt og internasjonalt har foreslått og diskutert flere teknologier og prosedyrer både i forbindelse med tidligere pandemisituasjoner, og nå nylig med den pågående spredningen av SARS-CoV-2-viruset. Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI) har gjennomgått relevant faglitteratur på desinfeksjon og gjenbruk av filtrerende halvmasker for å etablere et godt kunnskapsgrunnlag med tanke på hvilke teknikker for desinfisering som bør utredes videre og eventuelt vurderes for bruk i Norge.

En egnet desinfeksjonsmetode må ikke ødelegge åndedrettsvernets filtreringsegenskaper eller negativt påvirke tilpassingen av åndedrettsvernet til brukerens ansikt. Metoden kan ikke føre til kontaktfare eller avdampning av kjemikalier for å være trygg for personen som skal gjenbruke åndedrettsvernet. Samtidig må desinfeksjonsmetoden effektivt inaktivere SARS-CoV-2 og andre smittestoffer.

En rekke metoder for desinfeksjon av filtrerende halvmasker er testet og beskrevet i litteraturen. Metodene har veldig forskjellig innvirkning på maskene. Desinfeksjonsmetodene med negativ innvirkning på maskene fører til at filteregenskapene blir dårligere eller forsvinner helt, maskene forblir forurenset med helseskadelige kjemikalier eller maskene forandrer fasong på en slik måte at det ikke er mulig å oppnå god ansiktstilpasning.

Basert på tilgjengelig faglitteratur vurderer FFI at desinfeksjonsmetodene som har liten eller ingen innvirkning på maskenes fysiske egenskaper etter desinfeksjon er ultrafiolett bestråling (UVC/UVGI), hydrogenperoksid damp (HPV), våt varme (60-70 °C), og tørr varme (< 80 °C). Metoder som har mulige negative innvirkninger på maskene, eller har andre vesentlige ulemper, er desinfeksjon med etylenoksid og væskeformig hydrogenperoksid. Desinfeksjon med alkohol, såpe og vann, hypoklorittløsning og autoklavering har sterk negativ innvirkning på maskene.

Det er viktig å være klar over at hvordan filtrerende halvmasker påvirkes av de ulike desinfeksjonsmetodene ikke nødvendigvis vil være lik for forskjellige masketyper. Ettersom de ikke inneholder nøyaktig de samme materialene, kan dette ha en innvirkning på hvordan hver enkelt masketype responderer. Det vil derfor være viktig å teste, validere og dokumentere hvordan desinfeksjonsprinsippene og de konkrete desinfeksjonsprosessene, innvirker på hvert enkelt produkt.

---

---

## Summary

Respiratory protection devices, such as filtering half masks, are used in the health care system to protect the user from infectious agents. The masks must obtain adequate sealing on the face and consist of a well-functioning filter material to work optimally. They are composed of several layers of mainly polypropylene, and the filter properties are based on a combination of mechanical and electrostatic properties.

Filtering half masks are normally not approved for reuse, but in a pandemic situation where supplies could be insufficient, disinfection and reuse may be necessary. National and international communities have proposed and discussed several technologies and procedures in connection with previous pandemic situations, and recently with the ongoing spread of the SARS-Cov-2 virus. Norwegian Defence Research Establishment (FFI) have reviewed the research on disinfection and reuse of filtering half masks to assess which techniques that should be further investigated and possibly implemented in Norway.

A suitable disinfection method must not destroy the respiratory filtering properties or adversely affect the facepiece fit. The method cannot cause contact hazards or evaporation of chemicals to be safe for the person to use the respirator. At the same time, the disinfection method must effectively inactivate both SARS-Cov-2 and other infectious agents.

A number of methods for disinfecting filtered half masks have been tested and described in the literature. The methods show very different effects on the masks. The disinfection methods with negative effects on the masks cause the filter properties to deteriorate or disappear almost completely, the masks remain contaminated with chemicals that are harmful to the health or the masks change shape in such a way that it is not possible to achieve good fit.

Based on available literature and research, FFI consider that the disinfection methods that have little or no effect on the mask's physical properties after disinfection are ultraviolet radiation (UVC / UVGI), hydrogen peroxide vapour (HPV), moist heat (60-70 °C), and dry heat (<80 °C). Methods that may have adverse effects on the masks, or have other significant drawbacks, are disinfection with ethylene oxide and liquid hydrogen peroxide. Disinfection with alcohol, soap and water, hypochlorite solution and autoclaving have strong negative effects on the masks.

It is important to be aware that the filtering half mask response to the different disinfection methods will not necessarily be the same for different mask types. Since they do not contain exactly the same materials, it can affect how each product responds. It will therefore be important to test, validate and document how disinfection methods affect each product.

---

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>3</b>
<b>Summary</b>	<b>4</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2 Filtrerende halvmasker</b>	<b>8</b>
2.1 Egenskaper	8
2.2 Krav	9
<b>3 Desinfeksjonsmetoder</b>	<b>10</b>
3.1 Tørr varme	11
3.2 Våt varme	12
3.3 Hydrogenperoksid	13
3.4 Ultrafiolett bestråling	15
3.5 Etylenoksid	15
3.6 Alkohol	16
3.7 Autoklaving	16
3.8 Hypoklorittløsning	17
3.9 Såpe og vann	17
<b>4 Oppsummering</b>	<b>18</b>
<b>Referanser</b>	<b>19</b>
<b>Forkortelser</b>	<b>24</b>





---

---

# 1 Innledning

Den pågående spredningen av SARS-CoV-2-viruset som forårsaker sykdommen covid-19 utfordrer helsevesenets tilgang på nødvendig smittevernutstyr, både med tanke på håndtering av den akutte fasen og god utholdenhet på sikt. Helsemyndighetens mål er å fortløpende anskaffe, godkjenne og distribuere tilstrekkelige mengder med smittevernutstyr slik at man til enhver tid og i alle deler av helsevesenet dekker det løpende behovet. Målet ser foreløpig ut til å være oppnåelig.

Samtidig er det allerede nå viktig og nødvendig å se nærmere på hvordan utholdenheten kan økes ytterligere gjennom utredning og implementering av alternative løsninger. Flere teknologier og prosedyrer for desinfeksjon av åndedrettsvern til gjenbruk har vært foreslått og diskutert i relevante fagmiljøer både nasjonalt og internasjonalt, både i forbindelse med tidligere pandemisituasjoner og med økende styrke de siste månedene i tilknytning til covid-19.

For at en desinfeksjonsmetode skal være egnet må følgende krav oppfylles:

- Metoden må effektivt inaktivere SARS-CoV-2 og andre smittestoffer
- Metoden må ikke ødelegge åndedrettsvernets filtreringsegenskaper
- Metoden må ikke påvirke tilpassingen av åndedrettsvernets til brukerens ansikt, inklusiv stropper, fester for stropper, nesebøyle, utåndingsventil osv.
- Metoden må være trygg for personen som skal gjenbruke åndedrettsvernets (blant annet ingen avdampning av kjemikalier eller kontaktfare etter desinfeksjon)

Denne rapporten beskriver desinfeksjonsmetodenes innvirkning på materialene i masken og hvordan prosessen kan ødelegge materialene og åndedrettsvernets evne til å fortsatt fungere. Rapporten er i hovedsak basert på en litteraturgjennomgang etter søk i PubMed<sup>1</sup>. Vi har også gått gjennom faglitteratur fra ulike samarbeidspartnere og internett. Det er spesielt rapporter og artikler med laboratorietester av maskenes filtreringsegenskaper som har blitt vurdert i denne gjennomgangen.

Litteraturen beskriver en rekke ulike desinfeksjonsmetoder som kan ha eller har effekt på ulike smittestoffer [1]. Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) har nylig utgitt en sammenstilling av eksisterende faglitteratur om ulike desinfeksjonsmetoders effektivitet på SARS-CoV-2 viruset [2].

---

<sup>1</sup> PubMed: (sterilis\* OR steriliz\* OR disinfect\* OR decontamin\* OR clean\*) AND ((mask\* OR respirator\*) AND (N95 OR N99 OR N100 OR "N 95" OR "N 99" OR "N 100" OR FFR OR FFP OR KN95))

---

---

## 2 Filtrerende halvmasker

### 2.1 Egenskaper

Åndedrettsvern brukes for å beskytte brukeren mot innånding av smittestoffer og andre partikler i luften. Filtrerende halvmasker dekker nese, munn og hake, og har to elastiske bånd som enten går bak hode og nakke eller rundt ørene. Det oppstår et undertrykk inn i masken når brukeren puster inn og hvis masken ikke gir tilstrekkelig beskyttelse kan partikler komme inn i masken gjennom lekkasjer i forseglingen mot ansiktet eller gjennom filtermaterialet.

Filtrerende halvmasker er hovedsakelig sammensatt av flere lag (typisk 3 til 5) polypropylen med ulike egenskaper [3]. Det innerste og ytterste laget skal gi stabilitet, komfort og motstand mot vann og fuktighet (hydrofobiske egenskaper). De midterste lagene sørger for maskens filtreringsegenskaper.



Figur 2.1 Tre ulike typer filtrerende halvmasker. Foto: FFI

De fleste filtrerende halvmasker benytter seg av filtermaterialer med en kombinasjon av mekaniske og elektrostatiske egenskaper (electret filter media) [3-5]. De elektrostatiske egenskapene skapes ved at polypropylenfibrene i maskematerialet blir overført en statisk elektrisk ladning. Elektrostatiske filtre har en permanent elektrisk ladning på filterfibrene. Når partikler (støv, virus, pollen etc.) i en luftstrøm passerer gjennom et slikt filter vil det elektriske feltet rundt fibrene tiltrekke seg partiklene (lignende en magnet). Elektrostatiske filtre fra polypropylen kan lages tynnere og lettere enn filtermedia som kun er basert på mekanisk filtrering. Elektrostatiske filtre er designet for effektivt å filtrere små (submikrometer) partikler uten at pustemotstanden i filteret blir for høy [6].

En ulempe med elektrostatiske fibre er at filteregenskapene, særlig for filtrering av de minste partiklene, faller dramatisk hvis den elektriske ladningen fjernes. Dette kan skje hvis filteret blir vått eller utsatt for enkelte typer kjemiske eller fysiske prosesser, som ofte benyttes i forbindelse med desinfeksjon.

---

---

Maskens evne til å beskytte brukeren avhenger både av filtermaterialet i masken og tilpasningen til brukerens ansikt. Ødelegges for eksempel stroppene kan dette føre til at masken ikke lenger sitter ordentlig inntil brukerens ansikt og fører til dårligere tilpassing. Noen masker har en utåndingsventil. Disse maskene er mer kompliserte enn masker uten utåndingsventil og inneholder flere deler som kan ødelegges i en desinfeksjonsprosess. En metode som forandrer maskens egenskaper slik at den blir uforholdsmessig ukomfortabel eller uakseptabel å ha på er heller ikke ønskelig, selv om masken for øvrig er trygg å bruke.

## **2.2 Krav**

Flere standarder setter krav til åndedrettsvern av typen filtrerende halvmasker [7]. Kravspesifikasjonene for åndedrettsvern av typen filtrerende halvmasker finnes i den norske (europeiske) standarden NS-EN 149 [8]. Standarden beskriver tre klasser for beskyttelse: FFP1, FFP2 og FFP3. FFP3 gir høyest beskyttelsesgrad. Maskene må både bestå en rekke tester, deriblant krav til total innlekkasje og penetrasjon gjennom filtermaterialet i masken.

I USA er filtrerende halvmasker regulert etter 34 CFR part 84 Subpart K [9] hvor maskene klassifiseres som N100, N99 eller N95 og godkjennes av NIOSH<sup>2</sup> [10]. Klassifiseringen er kun basert på penetrasjon gjennom filtermaterialet.

Selv om de amerikanske og europeiske standardene ikke har eksakt samme testmetode eller krav viser undersøkelser at de er sammenlignbare [7, 11] og masker klassifisert som N95 og FFP2 bør gi omtrent samme beskyttelse.

### **2.2.1 Penetrasjon gjennom filtermaterialet**

Testing av penetrasjon gjennom filtermaterialet forgår på en testtrigg under kontrollerte betingelser i et laboratorium. For å bestemme klassifisering etter NS-EN 149 [8] testes filtermaterialet mot en aerosol av natriumklorid<sup>3</sup> eller parafinolja [12]. Penetrasjonen gjennom filtermaterialet skal være på maksimalt 20 % (FFP1), 6 % (FFP2) og 1 % (FFP3). I den amerikanske standarden [9] testes det også mot en aerosol av natriumklorid<sup>4</sup> og filtermaterialet skal filtrere bort minimum hhv 99,97 %, 99 % eller 95 % av testaerosolen for masker av typene N100, N99 og N95.

### **2.2.2 Total innlekkasje**

En masketypes evne til å beskytte brukeren presenteres på to ulike måter, enten som andelen partikler de slipper inn eller andelen de ikke slipper inn. Masker testes i et laboratorium med forsøkspersoner og testen gir et kvantitativt mål på den totale yteevnen for maskene i form av forsegling mellom masken og brukerens ansikt, innlekkasje gjennom maskens filtermateriale og

---

<sup>2</sup> National Institute for Occupational Safety and Health

<sup>3</sup> Median diameter på 0,06-0,10 µm med geometrisk standardavvik på 2 til 3.

<sup>4</sup> Median diameter på 0,075±0,020 µm med geometrisk standardavvik på mindre enn 1,86.

---

---

lekkasjer i utåndingsventilen (hvis masken har det). Europeiske standarder setter krav til *total innlekkasje* (Total Inward Leakage, TIL).

Resultatene uttrykkes som total innlekkasje (Total Inward Leakage, TIL) i prosent og beregnes ved hjelp av formelen

$$TIL (\%) = \frac{C_m}{C_0} \times 100$$

hvor  $C_m$  er partikkelkonsentrasjon målt i masken og  $C_0$  er partikkelkonsentrasjon målt i testkammeret.

Total innlekkasje måles med fem ulike øvelser på 10 forsøkspersoner (totalt 50 øvelser). Den individuelle gjennomsnittlige totale innlekkasjen for 8 av de 10 forsøkspersonene skal ikke være større enn 22 % (FFP1), 8 % (FFP2) og 2 % (FFP3). Samtidig skal total innlekkasje, for minst 46 av 50 øvelser, ikke overstige 25 % (FFP1), 11 % (FFP2) og 5 % (FFP3).

En annen måte å beskrive maskenes evne til å beskytte brukeren er å bruke begrepet *beskyttelsesfaktor* (Protection Factor, PF). Den nominelle beskyttelsesfaktoren (NPF) [13] kan uttrykkes som

$$NPF = \frac{100}{TIL_{max}}$$

hvor  $TIL_{max}$  er den maksimale tillatte totale innlekkasjen for en gitt type masker.

I USA setter Occupational Safety and Health Administration (OSHA) sin standard 1910.134 Appendix A krav til gjennomføring av en tilpassingstest for alle som skal bruke åndedrettsvern. Alle filtrerende halvmasker skal ha en beskyttelsesfaktor (Assigned Protection Factor, APF) på minimum 10 [14, 15].

### 3 Desinfeksjonsmetoder

Mulighetene for å gjenbruke masker under en pandemi har tidligere blitt vurdert, blant annet av amerikanske Institute of Medicine i 2006 [4], uten å finne gode løsninger. Denne studien gav videre en rekke anbefalinger på forskningsområder som vil være viktig for å forstå og etablere gjenbruk og forlenget bruk av ulike typer masker. En rekke metoder er omtalt, testet ut og beskrevet etter at denne rapporten ble utgitt 2006 og de viktigste studiene blir beskrevet her. Det er betydelig variasjon i hvor mye dokumentasjonen som finnes for de ulike metodene.

---

---

De fleste rapporterte studiene som har undersøkt masker etter desinfeksjon benyttet masker klassifisert som N95 etter amerikanske NIOSH sin standard [9]. Samtidig er det viktig å være klar over at filtrerende halvmaskers respons på de ulike desinfeksjonsmetodene ikke nødvendigvis vil være lik, fordi de ulike masketyperne ikke er like. De inneholder ikke nøyaktig de samme materialene, nesebøylen er forskjellig, festestroppene er ulike, designet er ulikt og de er både med og uten utåndingsventil. Alle disse egenskapene kan ha en innvirkning på hvordan hvert enkelt produkt responderer. Selv om studiene referert nedenfor vil gi en god indikasjon på hvilke metoder som er lovende, vil det derfor være viktig å teste, validere og dokumentere hvordan desinfeksjonsprinsippene og de konkrete desinfeksjonsprosessene innvirker på hvert enkelt produkt.

### 3.1 Tørr varme

Tørr varmebehandling er en enkel prosedyre som ikke innebærer kjemikalier av noe slag. Ulempen med tørr varmebehandling, i motsetning til når luftfuktigheten er høy, er at varmeoverføringen blir tregere og tiden må derfor økes for at hele produktet skal oppnå samme temperatur.

Teststandarden for filtrerende halvmasker (NS-EN 149) krever kondisjonering av maskene ved 70 °C i 24 timer og deretter -30 °C i 24 timer. Dette betyr at alle masker som er testet og klassifisert som FFP1, FFP2 og FFP3 skal tåle tørr varmebehandling ved 70 °C. Masker som er klassifisert som N95, N99 eller N100 etter NIOSH-standard har et krav om kondisjonering ved 38±2,5 °C ved 85±5 % relativ fuktighet i 25±1 timer.

FFI har gjennom testvirksomhet våren 2020 undersøkt total innlekkasje for ulike masker som har blitt kondisjonert og masker som ikke har det, og resultatene har så langt ikke avdekket signifikante forskjeller mellom ukondisjonerte og kondisjonerte masker.

Hovedfunnene i litteraturen er at oppvarming til 80 °C i 60 minutter ikke gir synlige forandringer, men en liten økning i penetrasjon gjennom filtermaterialet [16], og selv etter 20 oppvarmingscykler ved 75 °C beholder materialet i maskene filtreringsegenskapene sine [17]. Oppvarming over rundt 100 °C gir dårligere filtreringsegenskaper i maskematerialet i N95 og N100 [18], mens ved 160 °C smelter maskene. Dette er ikke overaskende siden polypropylen har et smeltepunkt på 165 °C og den høyeste brukstemperaturen for polypropylen er i område 90-100 °C [16].

De vanligste programmene for sterilisering med varm luft som er anbefalt er 180 °C i 30 minutter, 170 °C i 60 minutter eller 160 °C i 120 minutter [19]. Alle disse temperaturprogrammene vil ødelegge maskene.

*Gjennomgangen av litteraturen viser at tørr varmebehandling ved temperaturer under 80 °C ikke ødelegger de fysiske tetthetsegenskapene til filtrerende halvmasker. Bruk av tørr varme (80 °C) er ikke nødvendigvis nok til å sikre tilstrekkelig desinfeksjon av alle typer smittestoff.*

---

---

## 3.2 Våt varme

Bruk av varme kombinert med fuktighet er kjent for å kunne inaktivere smittestoffer [1]. Flere metoder for å utsette filtrerende halvmasker for varm damp har blitt beskrevet i litteraturen. Det kan være bruk av oppvarmet vann, inkubatorer eller mikrobølgeovner.

Ved å la masker utsettes for damp fra vann som holder 65 °C i 20 minutter ble det ikke observert noen negativ innvirkning på filtermaterialene [20]. Behandling av maskene med våt varme i en inkubator ved 60 °C ved 80 % relativ fuktighet i 30 minutter viser at neseputen løsner litt fra noen av maskene [21, 22]. Maskene viste ingen forandring i egenskapene til filtermaterialene [22].

Andre studier har vist at maskene kan utsettes for damp fra kokende vann opptil tre sykler (hver på 10 minutter) uten at filtermaterialet mister egenskapene sine, mens etter fem sykler mistet filtermaterialet egenskapene sine [17]. Grunnen er antageligvis at de statiske egenskapene til filtermaterialet degraderes, enten fordi vanndampen er for varm eller fordi det er en mettet dampfase.

Forsøk med gjentatte på-/avkledninger viste at maskenes tilpassing og beskyttelsesfaktor fortsatt var i behold etter behandling med våt varme i en inkubator ved 60 °C ved 80 % relativ fuktighet i 30 minutter [21, 23].

Mikrobølgeovner kan brukes til å danne varm damp (microwave-generated steam, MGS) ved å sette 50 ml vann i mikrobølgeovnene under desinfeksjonen. Masker behandlet med denne metoden i 2 minutter ved 1250 W viser få eller ingen forandringer i filteregenskapene [20], men neseputen løsner litt fra noen av maskene. Også etter tre desinfeksjonsrunder beholdes filteregenskapene [22]. Forsøk med gjentatte på-/avkledninger viste også at maskenes tilpassing og beskyttelsesfaktor fortsatt var i behold [21, 23]. Ingen av forsøkene viste tegn til gnister, selv om nesebøylen er laget av metall.

Det finnes også kommersielt tilgjengelige «mikrobølgeovndampposer» som har blitt testet, og har vist seg å ikke forandre filteregenskapene etter tre ganger 90 sekunder i mikrobølgeovn [24].

Effekten av våt varme for desinfeksjon av ulike smittestoffer er undersøkt. Våt varme har blitt brukt for å inaktivere influensavirusene H5N1 [20] og H1N1 [25] på N95-masker ved å utsette dem for fuktig luft over 60 °C i rundt 30 minutter. Studier har også vist at varm damp kan bryte ned Phi-6 [26] og bakteriofag MS2 [24].

*Gjennomgangen av litteraturen viser at fuktig varmebehandling eller varm damp kan være egnede metoder for å desinfisere filtrerende halvmasker. Bruk av våt varme (60-70 °C) er ikke nødvendigvis nok til å sikre tilstrekkelig desinfeksjon av alle typer smittestoff.*

---

---

### 3.3 Hydrogenperoksid

Hydrogenperoksid ( $H_2O_2$ ) er en klar væske ved romtemperatur. Det er et effektivt oksideringsmiddel som brytes ned over tid til ufarlige forbindelser som vann ( $H_2O$ ) og oksygen ( $O_2$ ). Hydrogenperoksid kan brukes både i væskeform (vandig løsning), damp eller plasma. Effektiviteten er mye høyere i dampform enn væskeform.

#### 3.3.1 Hydrogenperoksiddamp

Hydrogenperoksid som damp, plasma og aerosol har lenge blitt benyttet til sterilisering og desinfeksjon av medisinsk utstyr, pasientrom, i industrien og blant nødetater. Flere sykehus og laboratorier som arbeider med smittestoffer benytter teknikken for å inaktivere smittestoffer. Det er to hovedtyper steriliserings-/desinfeksjonsprosesser, og de bruker hydrogenperoksid som damp (hydrogen peroxide vapor, HPV) eller aerosol (hydrogen peroxide aerosol, HPA) [27]. Ved bruk av damp er konsentrasjonen av hydrogenperoksidløsningene som benyttes høy (>30 %), mens ved bruk av aerosol er konsentrasjonen av hydrogenperoksidløsningene lavere (5-10 %). Det finnes en rekke kommersielle systemer på markedet og de omtales under flere forkortelser<sup>5</sup>. Begrepene brukes til dels om hverandre, men har også en del forskjeller, og ulike systemer benyttes til forskjellige formål.

De fleste rapporter som er funnet i litteraturen på desinfeksjon av filtrerende halvmasker har testet ut bruken av hydrogenperoksiddamp (HPV) [16, 18, 22] eller hydrogenperoksiddamp med plasma (HPGP). Bruken av plasma er ikke for å øke effektiviteten av steriliseringen, men for å fjerne peroksidrester og forbedre utluftingen. Nylig har også bruken av hydrogenperoksid som aerosol blitt beskrevet [28-30].

Amerikanske myndigheter utstedte 28. mars 2020 via U.S. Food and Drug Administration (FDA) en godkjenning i form av en Emergency Use Authorization (EUA) for et HPV-basert system for desinfeksjon og gjenbruk av N95 og N95-lignende masker (uten cellulose) [31]. Renseprosessen består av en syklus på 150 minutter med opptil 10 000 masker i hver kjøring. Til nå er 14 systemer i bruk, og 18 andre er planlagt utplassert [32, 33]. Battelle har inngått kontrakt med det amerikanske forsvarsdepartementet på leveranse av 60 systemer i løpet av mai [34]. Metoden er basert på en tidligere testrapport fra Battelle [35] og utstyret er godkjent for desinfeksjon av den samme masken 20 ganger. FDA har etter dette også gitt godkjenning til andre systemer fra STERIS [36] og Advanced Sterilization Products (ASP) Inc (STERRAD) [37], Stryker Instrument (STERIZONE) [38] og Steriluent [39]. Tester pågår for å vurdere de ulike aktørene sine systemer [40].

Ulike N95 og N100 masker har blitt behandlet med HPGP. Faglitteraturen inneholder rapporter hvor maskene beholdt sine egenskaper [16, 18] og rapporter hvor desinfeksjonsmetoden gjorde at maskene mistet deler av filtreringsegenskapene sine [22]. Noe av forklaringen kan ligge i at desinfeksjonsprogrammet ikke var nøyaktig det samme i de ulike studiene. Metoden fører ofte

---

<sup>5</sup> Hydrogen Peroxide Vapor (HPV), Hydrogen Peroxide Gas Plasma (HPGP), Vaporized Hydrogen Peroxide (VHP), Hydrogen Peroxide Aerosol (HPA/aHP). Ionized Hydrogen Peroxide (iHP)

---

---

til en fargeforandring [18] på metalldele (nesebøyle) i maskene som kommer av at metallet blir oksidert.

Bruken av HPV (uten plasma) har også blitt evaluert [22, 35] og viser at materialet i masken fortsatt beholdt sine egenskaper.

Det er også blitt rapportert om måling av beskyttelsesfaktor etter renseprosessen. Det er usikkert hvor mange ganger ulike masker kan desinfiseres fordi resultatene i litteraturen spriker veldig. Noen rapporter viser at maskene mister sine egenskaper etter 2 til 3 sykluser [22, 41], mens andre viser at maskene tåler minst 20 sykluser [35, 42]. Tilpassing og optimalisering av rensesyklusen må gjøres hvis HPV skal brukes til desinfeksjon av masker.

Også bruken av aerosoler av hydrogenperoksid har blitt evaluert og to foreløpige rapporter med ulike systemer viste at materialet i masken fortsatt beholdt sine egenskaper [28] og at beskyttelsesfaktoren opprettholdes [30].

Alle desinfeksjonsprosesser vil variere avhengig av type rensesystem, effekt mot ulike smittestoffer, syklusen og andre materialer tilstede i rommet. Det er viktig å være klar over at bruken av HPV ikke er kompatibelt med masker som inneholder cellulose. Cellulose absorberer peroksider og ødelegger av den grunn renseprosessen.

Rester av kjemikalier som var igjen i maskene etter desinfeksjon med HPV har blitt undersøkt [43] og målinger gir resultater som er under helseskadelige nivåer. Grenseverdien for forurensning av hydrogenperoksid i arbeidsatmosfæren er på 1 ppm eller 1,4 mg/m<sup>3</sup>[44].

Effekten av HPV for desinfeksjon av ulike smittestoffer er undersøkt, og har vist seg å være effektiv mot ulike bakteriofager [45] og *G. stearothermophilus*-sporer<sup>6</sup> [35].

*Gjennomgangen av litteraturen viser at hydrogenperoksid damp kan være en egnet metode for å desinfisere filtrerende halvmasker.*

### **3.3.2 Væskeformig hydrogenperoksid**

Væskeforming H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (løsning i vann) har blitt undersøkt ved å behandle ulike N95- og N100-masker i en 3 % eller 6 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-løsning for 30 minutter [16, 22]. Metalldelen i masken ble noe oksidert av behandlingen, men filtreringsegenskapene til materialet holdt seg. Ingen undersøkelser av maskenes tilpassing etter rens ble funnet.

*Gjennomgangen av litteraturen viser at væskeformig hydrogenperoksid kan være en egnet metode for å desinfisere filtrerende halvmasker, men teknikken er lite utprøvd og anbefales derfor ikke.*

---

<sup>6</sup> Biologisk indikator som anses for å være en av de mest motstandsdyktige. Brukes til å validere steriliseringsprosesser.



---

---

### 3.4 Ultrafiolett bestråling

Ultrafiolett lys (UVC) kan brukes til å bestråle utstyr og teknikken kalles ultraviolet germicidal irradiation (UVGI). UVGI har to viktige faktorer som kan forandres, nemlig bølgelengden og dosen. UVC-lys med en bølgelengde på 254 nm forårsaker ødeleggelser i DNA og RNA [46] og er derfor blitt vurdert som en mulig desinfeksjonsteknikk. UVC har muligheten til å trenge inn og gjennom porøse materialer som tekstiler, klær og filtrerende halvmasker [47]. Lyset blir attenuert (dempet) når det går gjennom de ulike filterlagene og metoden er avhengig av at masken bestråles likt fra alle sider og nøyaktig plassering av masken i bestålingsperioden er derfor kritisk [47].

Et større forskningsprosjekt har undersøkt bruken av UVGI [48] og vist at det har potensial som rensemetode for filtrerende halvmasker. De påpeker allikevel at metoden må tilpasses de ulike masketyperne og hvor mange ganger en maske kan bestråles. Prosjektet utarbeidet to standarder som ble utgitt av ASTM International [49, 50].

Hos masker (N95 uten utåndingsventil) som er behandlet med UVC ved 254 nm i 15 minutter eller 30 minutter ser en ingen negative innvirkninger på filtermaterialer [20, 21]. Forsøk med tre rensesykler på 15 minutter under UVC viser heller ingen vesentlig forandringer i filteregenskapene [22]. Det er heller ikke blitt rapportert om noen synlige fysiske forandringer på maskene [16, 18, 23], men noen rapporterer at maskene har fått en annerledes lukt [21]. Dosene som har blitt brukt i disse forsøkene har alle vært på rundt 1 J/cm. Forsøk med nesten 1000 ganger høyere doser har også blitt prøvd ut for flere typer N95-masker og viser kun små endringer i filtreringsegenskapene [51]. Styrken til materialene og stroppene i masken varierte derimot mye etter behandling.

Undersøkelser av maskenes tilpassing etter rens med UVC viser at maskene som ble testet holder på egenskapene sine etter tre rensesykler på 15 minutter under UVC-bestråling [23].

En prosedyre for hvordan rensemetoden kan gjennomføres i praksis ved et sykehus har blitt beskrevet [52] og hvordan utstyr som benyttes i hudpleie kan brukes som plattform for UVC-bestråling [53].

Effekten av UVC for desinfeksjon av ulike smittestoffer er undersøkt, og vist seg å være effektiv mot *Bacillus subtilis*-sporer [54], H5N1 [20] og H1N1 [25, 55].

*Gjennomgangen av litteraturen viser at ultrafiolett lys (UVC/UVGI) kan være en egnet metode for å desinfisere filtrerende halvmasker.*

### 3.5 Etylenoksid

Etylenoksid har lenge blitt bruk for sterilisering, men har flere utfordringer [1]. Etylenoksid er kreftfremkallende for mennesker ved inhalasjon. Siden masker brukes over munnen er sjansen til stede for at rester av etylenoksid vil kunne dampe av og bli inhalert av brukeren. Analyser av masker etter rens viser allikevel ikke rester av etylenoksid [43].

---

---

Visuell inspeksjon av maskene etter rens viser ingen tydelige tegn til forandring [18, 22] eller kun små fargeforandringer [16]. Resultater viser også at maskene ikke får noen forandring i filteregenskapene ved hverken en eller tre rensesykluser [18, 22] eller kun små forandringer som gjøre at masken fortsatt er innenfor kravet [16].

*Gjennomgangen av litteraturen viser at etylenoksid kan være en egnet metode for å desinfisere filtrerende halvmasker, men det setter strenge krav til etterbehandling for å sørge for at maskene ikke inneholder rester av etylenoksid eller andre kjemikalier.*

### **3.6 Alkohol**

Både etanol og isopropanol har egenskaper som gjøre at de kan benyttes som rensmiddel.

Resultater i litteraturen på bruk av alkohol viser at penetrasjonen gjennom filtermaterialene øker til over kravet for N95-masker [16, 56]. Grunnen til dette er antageligvis at de elektrostatiske egenskapene til filtermaterialene blir ødelagt [6]. Dette gjelder også selv om maskene tørkes før de brukes etter behandling.

*Gjennomgangen av litteraturen viser at etanol og isopropanol ikke er egnet for desinfisere filtrerende halvmasker.*

### **3.7 Autoklivering**

Ved autoklivering utsettes maskene for en steriliseringsprosess som benytter damp ved en gitt temperatur og trykk, i en bestemt tid. De to vanligste temperaturene som benyttes ved autoklivering er 121 °C og 134 °C og minstetiden materialene eksponeres for er henholdsvis 15 minutter og 3 minutter [1, 19].

FFI har testet total innlekkasjer i FFP3-masker med utåndingsventil som har blitt autoklavert en og to ganger ved 121 °C i 25 minutter. Resultatene viste at maskene har høyere total innlekkasje etter en autoklivering og at det er en signifikant økning i total innlekkasje etter to autokliveringer. Det ble også observert forandringer i membranen i utåndingsventilen og lukt på de autoklaverede maskene.

I litteraturen rapporteres flere forsøk hvor autoklivering har blitt brukt for å sterilisere masker. Autoklivering ved 121 °C i 15-30 minutter har ført til at N95-maskene forandrer fasong [16, 56, 57]. Denne forandringen har delvis negativ effekt på filteregenskapene og maskenes tilpassing. Autoklivering ved 134 °C fører til så store forandringer i maskene at de blir ubrukelige [41].

Flere har testet penetrasjonen gjennom filtermaterialet etter autoklivering. Noen studier viser at autoklivering hadde liten effekt på denne penetrasjonen [56], mens andre viser en langt høyere penetrasjon etter autoklivering [16]. Forskjeller i resultatene kan komme av at det måles på ulike

---

---

partikkelstørrelser og at selve autoklaveringen endrer hvilke partikler som penetrerer masken mest<sup>7</sup>.

Oppvarming over rundt 100 °C har vist at maskematerialet i N95 og N100 får dårligere filteregenskaper [18]. De fleste maskene inneholder også ikke-vevde polypropylenfibre som har høyeste driftstemperatur rundt 90-100 °C [16]. Temperaturene ved autoklavering er mye høyere enn dette og potensiale for å ødelegge fibrene er derfor tilstede.

Effekten av autoklavering for desinfeksjons av ulike smittestoffer er undersøkt og funnet effektiv for rens av filtrerende halvmasker med *Bacillus subtilis*-sporer [54].

*Gjennomgangen av litteraturen viser at autoklavering ikke er en egnet metode for å desinfisere filtrerende halvmasker.*

### **3.8 Hypoklorittløsning**

Natriumhypoklorittløsning har blitt forsøkt som rensemetode for flere ulike masker av typen N95 og N100. Hypokloritt fører ofte til en fargeforandring [16, 18] på metalleder (nesebøyle) i maskene som kommer av at metallet blir oksidert.

Etter rens med væskeforming hypokloritt må maskene tørkes. I litteraturen har tiden variert i mellom 12-72 timer. Maskene har ofte en tydelig lukt av klor selv etter mange timer [18]. Måling av filteregenskapene etter rens har gitt varierende resultater. Tidlige studier viste at filteregenskapene var opprettholdt [16, 22] etter 30 minutter i 0,5 % hypoklorittløsning, mens de siste studiene tilbakeviser dette og viser at filtermaterialer har mye dårlige egenskaper [17, 56].

Effekten av hypoklorittløsning for desinfeksjons av ulike smittestoffer er undersøkt og funnet effektiv for rens av filtrerende halvmasker med *Bacillus subtilis*-sporer [54] og MS2 [58].

*Gjennomgangen av litteraturen viser at hypokloritt ikke er en egnet metode for å desinfisere filtrerende halvmasker.*

### **3.9 Såpe og vann**

Såpe og vann er alltid lett tilgjengelig og anbefalt for vask av hender. Vask av masker med vanlig håndsåpe og vann er forsøkt og resultatene viser at filtermaterialene mister mye av sine egenskaper [16]. Grunnen til dette er antageligvis at de elektrostatiske egenskapene til filtermaterialene blir ødelagt.

*Gjennomgangen av litteraturen viser at såpe og vann ikke er egnet for rens av filtrerende halvmasker.*

---

<sup>7</sup> For diskusjon av partikkelstørrelse se [56]

---

---

## 4 Oppsummering

En rekke metoder for desinfeksjon av filtrerende halvmasker er testet og beskrevet i litteraturen, men der er betydelig variasjon i hvor mye dokumentasjonen som finnes for de ulike metodene. Metodene har veldig forskjellig innvirkning på maskene. Desinfeksjonsmetodene med negativ innvirkning på maskene fører til at filteregenskapene blir dårligere, maskene forblir forurenset med kjemikalier som er helseskadelige eller at masken forandrer fasong på en slik måte at det ikke er mulig å oppnå god tilpasning til brukeren.

Metodene som har liten eller ingen innvirkning på maskene etter desinfeksjon er, i alfabetisk rekkefølge:

- hydrogenperoksid damp (HPV), tørr varme (< 80 °C), ultrafiolett bestråling (UVC/UVGI) og våt varme (60-70 °C)

Metodene som kan ha innvirkning på maskene etter desinfeksjon eller har andre vesentlige ulemper er:

- etylenoksid og væskeformig hydrogenperoksid

Metodene som har sterk negativ innvirkning på maskene etter desinfeksjon er:

- alkohol, såpe og vann, hypoklorittløsning og autoklaving

Det er viktig å være klar over at hvordan filtrerende halvmasker påvirkes av de ulike desinfeksjonsmetodene ikke nødvendigvis vil være lik for forskjellige masketyper. Ettersom de ikke inneholder nøyaktig de samme materialene, kan dette ha en innvirkning på hvordan hver enkelt masketype responderer. Det vil derfor være viktig å teste, validere og dokumentere hvordan desinfeksjonsprinsippene og de konkrete desinfeksjonsprosessene, innvirker på hvert enkelt produkt.

---

---

## Referanser

- [1] Centers for Disease Control and Prevention, "Guideline for disinfection and sterilization of healthcare facilities " 2019, <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/>.
- [2] E.-M. Fykse, L. V. Moen, and M. Dybwad, "Stabilitet og overlevelse av SARS-CoV-2 viruset og sensitivitet mot desinfeksjonsmidler – Sammenstilling og tilgjengeliggjøring av eksisterende kunnskap , FFI-rapport 20/02177," 2020.
- [3] E. M. Fisher and R. E. Shaffer, "Considerations for recommending extended use and limited reuse of filtering facepiece respirators in health care settings," *J Occup Environ Hyg*, vol. 11, no. 8, pp. D115-28, 2014.
- [4] Institute of Medicine, "Reusability of Facemasks During an Influenza Pandemic: Facing the Flu.," Washington, DC: The National Academies Press, 2006.
- [5] D. J. Viscusi, M. Bergman, E. Sinkule, and R. E. Shaffer, "Evaluation of the filtration performance of 21 N95 filtering face piece respirators after prolonged storage," *Am J Infect Control*, vol. 37, no. 5, pp. 381-386, Jun 2009.
- [6] S. B. Martin, Jr. and E. S. Moyer, "Electrostatic respirator filter media: filter efficiency and most penetrating particle size effects," *Appl Occup Environ Hyg*, vol. 15, no. 8, pp. 609-17, Aug 2000.
- [7] 3M, Technical Bulletin Comparison of FFP2, KN95, and N95 and Other Filtering Facepiece, January, 2020 Revision 2, 2020.
- [8] *Norsk Standard, NS-EN 149:2009 Åndedrettsvern - Filtrerende halvmasker til beskyttelse mot partikler, Krav, prøving, merking, NS-EN 149 2009 2009.*
- [9] *Code of Federal Regulations, Title 42 - Public Health, PART 84 - APPROVAL OF RESPIRATORY PROTECTIVE DEVICES, Subpart K—Non-Powered Air-Purifying Particulate Respirators, 2004.*
- [10] *The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).* <https://www.cdc.gov/niosh/index.htm>
- [11] S. Rengasamy, B. C. Eimer, and R. E. Shaffer, "Comparison of nanoparticle filtration performance of NIOSH-approved and CE-marked particulate filtering facepiece respirators," *Ann Occup Hyg*, vol. 53, no. 2, pp. 117-28, Mar 2009.
- [12] *Norsk Standard, NS-EN 13274-7 2019 Åndedrettsvern Prøvmingsmetoder Del 7: Bestemmelse av gjennomtrengning gjennom partikkelfilter, 2019.*
- [13] *British Standard BS EN 529:2005 Respiratory protective devices - Recommendations for selection, use, care and maintenance - Guidance document, 2005.*
- [14] *Occupational Safety and Health Standards, 1910.134 Respiratory Protection.*

- 
- [15] *Occupational Safety and Health Standards, 1910.134 App A - Fit Testing Procedures (Mandatory)*, 1910.134 App A.
- [16] D. Viscusi, W. P. King, and R. Shaffer, "Effect of Decontamination on the Filtration Efficiency of two filtering facepiece respirator models," *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, vol. 24, pp. 93-107, 2007.
- [17] A. Price and L. Chu. (2020). *Addressing COVID-19 Face Mask Shortages [v1.3]*, *Stanford Anesthesia Informatics and Media Lab & Learnly COVID-19 Evidence Service*. <https://stanfordmedicine.app.box.com/v/covid19-PPE-1-2>
- [18] D. J. Viscusi, M. S. Bergman, B. C. Eimer, and R. E. Shaffer, "Evaluation of five decontamination methods for filtering facepiece respirators," *Ann Occup Hyg*, vol. 53, no. 8, pp. 815-27, Nov 2009.
- [19] Oslo Universitetssykehus. (2019). *Tørrsterilisering og vanndampsterilisering*. <https://oslo-universitetssykehus.no/torrsterilisering-og-vanndampsterilisering>
- [20] M. B. Lore, B. K. Heimbuch, T. L. Brown, J. D. Wander, and S. H. Hinrichs, "Effectiveness of three decontamination treatments against influenza virus applied to filtering facepiece respirators," *Ann Occup Hyg*, vol. 56, no. 1, pp. 92-101, Jan 2012.
- [21] D. J. Viscusi *et al.*, "Impact of three biological decontamination methods on filtering facepiece respirator fit, odor, comfort, and donning ease," *J Occup Environ Hyg*, vol. 8, no. 7, pp. 426-36, Jul 2011.
- [22] M. Bergman, D. Viscusi, B. K. Heimbuch, J. D. Wander, A. R. Sambol, and R. Shaffer, "Evaluation of Multiple (3-Cycle) Decontamination Processing for Filtering Facepiece Respirators," *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 5, no. 4, pp. 33-41, 2010.
- [23] M. Bergman, D. Viscusi, A. Palmiero, J. Powell, and R. Shaffer, "Impact of Three Cycles of Decontamination Treatments on Filtering Facepiece Respirator Fit," *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, vol. 28, no. 1, pp. 48-59, 2011.
- [24] E. M. Fisher, J. L. Williams, and R. E. Shaffer, "Evaluation of microwave steam bags for the decontamination of filtering facepiece respirators," *PLoS One*, vol. 6, no. 4, p. e18585, Apr 15 2011.
- [25] B. K. Heimbuch *et al.*, "A pandemic influenza preparedness study: use of energetic methods to decontaminate filtering facepiece respirators contaminated with H1N1 aerosols and droplets," *Am J Infect Control*, vol. 39, no. 1, pp. e1-9, Feb 2011.
- [26] L. M. Casanova and B. Waka, "Survival of a surrogate virus on N95 respirator material," *Infect Control Hosp Epidemiol*, vol. 34, no. 12, pp. 1334-5, Dec 2013.
- [27] T. Holmdahl, P. Lanbeck, M. Wullt, and M. H. Walder, "A head-to-head comparison of hydrogen peroxide vapor and aerosol room decontamination systems," *Infect Control Hosp Epidemiol*, vol. 32, no. 9, pp. 831-6, Sep 2011.

- 
- 
- [28] A. Cramer *et al.*, "Analysis of SteraMist ionized hydrogen peroxide technology as a method for sterilizing N95 respirators and other personal protective equipment," *medRxiv*, p. 2020.04.19.20069997, 2020. Preprint
- [29] V. C. C. Cheng, S. C. Wong, G. S. W. Kwan, W. T. Hui, and K. Y. Yuen, "Disinfection of N95 respirators by ionized hydrogen peroxide in pandemic coronavirus disease 2019 (COVID-19) due to SARS-CoV-2," *Journal of Hospital Infection*, 2020. Journal Pre-proof
- [30] T. H. Derr *et al.*, "Aerosolized Hydrogen Peroxide Decontamination of N95 Respirators, with Fit-Testing and Virologic Confirmation of Suitability for Re-Use During the COVID-19 Pandemic," *medRxiv*, p. 2020.04.17.20068577, 2020. Preprint
- [31] U.S. Food & Drug Administration, "FDA letter of approval (3/28/2020) for Emergency Use Authorization for the Battelle Decontamination System, an HPV system for decontaminating N95 respirators ", 2020.
- [32] Battelle. (2020). *Battelle CCDS Critical Care Decontamination System™ Services Now Available at No Charge*. <https://www.battelle.org/newsroom/press-releases/press-releases-detail/battelle-ccds-critical-care-decontamination-system-services-now-available-at-no-charge>
- [33] Battelle. (2020). *Battelle CCDS™ FAQ*. <https://www.battelle.org/inb/battelle-ccds-for-covid19-satellite-locations>
- [34] U.S. Department of Defense. (2020). *DOD Contract for 60 N95 Critical Care Decontamination Units: \$415M Contract, Each Unit Can Decontaminate 80K N95 Masks Per Day* <https://www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/2148352/dod-contract-for-60-n95-critical-care-decontamination-units-415m-contract-each/>
- [35] Battelle, "Final Report for the Bioquell Hydrogen Peroxide Vapor (HPV) Decontamination for Reuse of N95 Respirators," 2016.
- [36] U.S. Food & Drug Administration, "FDA letter of approval (4/5/2020) for Emergency Use Authorization for the STERIS Sterilization System, an HPV system for decontaminating N95 respirators ", 2020.
- [37] U.S. Food & Drug Administration, "FDA letter of approval (4/11/2020) for Emergency Use Authorization for the ASP STERRAD Sterilization System, an HPV system for decontaminating N95 respirators " 2020.
- [38] U.S. Food & Drug Administration, "FDA letter of approval (4/5/2020) for Emergency Use Authorization for the STERIZONE VP4 Sterilizer, an HPV system for decontaminating N95 respirators ", 2020.
- [39] U.S. Food & Drug Administration, "FDA letter of approval (4/20/2020) for Emergency Use Authorization for the Steriluent HC 80TT Hydrogen Peroxide Sterilizer for decontaminating N95 respirators ", 2020.

- 
- 
- [40] 3M, "Technical Bulletin Decontamination Methods for 3M N95 Respirators. Revision 3," 2020.
- [41] The Dutch National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), "Reuse of FFP2 masks," 2020.
- [42] A. Schwartz *et al.*, "Decontamination and Reuse of N95 Respirators with Hydrogen Peroxide Vapor to Address Worldwide Personal Protective Equipment Shortages During the SARS-CoV-2 (COVID-19) Pandemic," *Applied Biosafety*, 2020. In press
- [43] W. B. Salter, K. Kinney, W. H. Wallace, A. E. Lumley, B. K. Heimbuch, and J. D. Wander, "Analysis of residual chemicals on filtering facepiece respirators after decontamination," *J Occup Environ Hyg*, vol. 7, no. 8, pp. 437-45, Aug 2010.
- [44] Arbeids- og sosialdepartementet, "FOR-2011-12-06-1358 Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer (forskrift om tiltaks- og grenseverdier) Vedlegg 1: Liste over grenseverdier for forurensninger i arbeidsatmosfæren," ed, 2011.
- [45] P. Kenney *et al.*, "Hydrogen Peroxide Vapor sterilization of N95 respirators for reuse," 2020. not peer-reviewed
- [46] M.-H. Woo, A. Grippin, D. Anwar, T. Smith, C.-Y. Wu, and J. D. Wander, "Effects of relative humidity and spraying medium on UV decontamination of filters loaded with viral aerosols," *Applied and environmental microbiology*, vol. 78, no. 16, pp. 5781-5787, 2012.
- [47] E. M. Fisher and R. E. Shaffer, "A method to determine the available UV-C dose for the decontamination of filtering facepiece respirators," *J Appl Microbiol*, vol. 110, no. 1, pp. 287-95, Jan 2011.
- [48] Applied Research. Associates, "Research to Mitigate a Shortage of Respiratory Protection Devices During Public Health Emergencies," 2019.
- [49] *ASTM E3135-18. Standard Practice for Determining Antimicrobial Efficacy of Ultraviolet Germicidal Irradiation against Microorganisms on Carriers with Simulated Soil.* .
- [50] *ASTM E3179-18. Standard Test Method for Determining Antimicrobial Efficacy of Ultraviolet Germicidal Irradiation against Influenza Virus on Fabric Carriers with Simulated Soil.* .
- [51] W. G. Lindsley *et al.*, "Effects of Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) on N95 Respirator Filtration Performance and Structural Integrity," *J Occup Environ Hyg*, vol. 12, no. 8, pp. 509-17, 2015.
- [52] J. J. Lowe *et al.*, "N95 Filtering Facemask Respirator Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) Process for Decontamination and Reuse," Nebraska Medicine 2020.



- 
- 
- [53] I. H. Hamzavi *et al.*, "Ultraviolet germicidal irradiation: possible method for respirator disinfection to facilitate reuse during COVID-19 pandemic," *J Am Acad Dermatol*, Apr 1 2020. Journal Pre-proof
- [54] T. H. Lin, F. C. Tang, P. C. Hung, Z. C. Hua, and C. Y. Lai, "Relative survival of *Bacillus subtilis* spores loaded on filtering facepiece respirators after five decontamination methods," *Indoor Air*, May 31 2018.
- [55] D. Mills, D. A. Harnish, C. Lawrence, M. Sandoval-Powers, and B. K. Heimbuch, "Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators," *Am J Infect Control*, vol. 46, no. 7, pp. e49-e55, Jul 2018.
- [56] T. H. Lin, C. C. Chen, S. H. Huang, C. W. Kuo, C. Y. Lai, and W. Y. Lin, "Filter quality of electret masks in filtering 14.6-594 nm aerosol particles: Effects of five decontamination methods," *PLoS One*, vol. 12, no. 10, p. e0186217, 2017.
- [57] The Dutch National Institute for Public Health and the Environment. (RIVM), "Update herverwerking mondmaskers RIVM 30032020," 2020.
- [58] E. Vo, S. Rengasamy, and R. Shaffer, "Development of a test system to evaluate procedures for decontamination of respirators containing viral droplets," *Appl Environ Microbiol*, vol. 75, no. 23, pp. 7303-9, Dec 2009.

---

---

## Forkortelser

EUA	Emergency Use Authorization
FDA	U.S. Food and Drug Administration
FFI	Forsvarets Forskningsinstitutt
HPA	Hydrogenperoksid aerosol (Hydrogen peroxide aerosol)
HPV	Hydrogenperoksid damp (Hydrogen peroxide vapor)
MGS	Mikrobølgedannet damp (Microwave-generated steam)
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NPF	Nominell beskyttelsesfaktor (Nominal protection factor)
PF	Beskyttelsesfaktor (Protection factor)
TIL	Total innlekasje (Total Inward Leakage)
UVC	Ultrafiolett lys type C
UVGI	Ultraviolet Germicidal Irradiation

## About FFI

The Norwegian Defence Research Establishment (FFI) was founded 11th of April 1946. It is organised as an administrative agency subordinate to the Ministry of Defence.

### FFI's MISSION

FFI is the prime institution responsible for defence related research in Norway. Its principal mission is to carry out research and development to meet the requirements of the Armed Forces. FFI has the role of chief adviser to the political and military leadership. In particular, the institute shall focus on aspects of the development in science and technology that can influence our security policy or defence planning.

### FFI's VISION

FFI turns knowledge and ideas into an efficient defence.

### FFI's CHARACTERISTICS

Creative, daring, broad-minded and responsible.

## Om FFI

Forsvarets forskningsinstitutt ble etablert 11. april 1946. Instituttet er organisert som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter underlagt Forsvarsdepartementet.

### FFIs FORMÅL

Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som kan påvirke forutsetningene for sikkerhetspolitikken eller forsvarsplanleggingen.

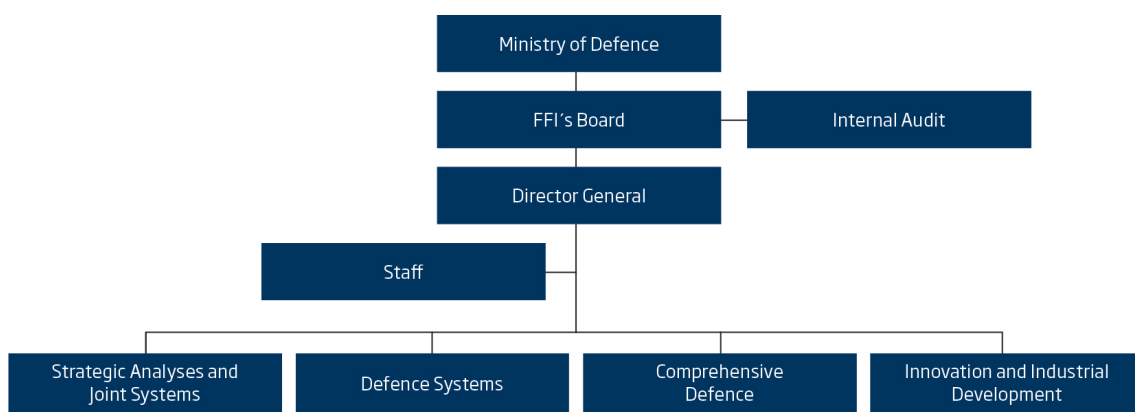
### FFIs VISJON

FFI gjør kunnskap og ideer til et effektivt forsvar.

### FFIs VERDIER

Skapende, drivende, vidsynt og ansvarlig.

## FFI's organisation



**Forsvarets forskningsinstitutt**  
Postboks 25  
2027 Kjeller

Besøksadresse:  
Instituttveien 20  
2007 Kjeller

Telefon: 63 80 70 00  
Telefaks: 63 80 71 15  
Epost: [ffi@ffi.no](mailto:ffi@ffi.no)

**Norwegian Defence Research Establishment (FFI)**  
P.O. Box 25  
NO-2027 Kjeller

Office address:  
Instituttveien 20  
N-2007 Kjeller

Telephone: +47 63 80 70 00  
Telefax: +47 63 80 71 15  
Email: [ffi@ffi.no](mailto:ffi@ffi.no)